

# Ecología del paisaje y sistemas de información geográfica ante el cambio socioambiental en las áreas de montaña mediterránea. Una aproximación metodológica al caso de los valles d'Hortmoier y Sant Aniol (Alta Garrotxa. Girona)

Diego Varga Linde  
Josep Vila Subirós  
*Institut de Medi Ambient  
Universitat de Girona*

LANDSCAPE ECOLOGY AND GEOGRAPHICAL INFORMATION SYSTEMS IN THE FACE OF THE SOCIAL AND ENVIRONMENTAL CHANGE IN THE MEDITERRANEAN MOUNTAIN AREAS. A METHODOLOGICAL APPROACH TO THE STUDY CASE OF HORTMOIER AND SANT ANIOL VALLEYS (ALTA GARROTXA. GIRONA)

## Resumen

Este artículo es una aproximación a los métodos utilizados para analizar, cuantificar y valorar los cambios en los usos y cubiertas del suelo en estos dos valles que forman parte del espacio natural protegido de la Alta Garrotxa. La dinámica vivida en este territorio es un claro ejemplo de los procesos acaecidos a lo largo del siglo XX en buena parte de las áreas de montaña mediterránea. Una dinámica caracterizada fundamentalmente por un incremento de la superficie forestal en detrimento del espacio agrario. Así mismo se proponen pautas metodológicas para su adecuada cartografía, así como para determinar las áreas potencialmente recuperables de espacio agrario con el objetivo de mantener la diversidad paisajística, biológica y el patrimonio cultural con la ayuda de los SIG y la Ecología del Paisaje.

## Palabras clave

Montaña mediterránea, cambio de usos y cubiertas del suelo, recuperación espacio agrario, SIG y Ecología del Paisaje.

## Abstract

This article is an approach to methods used to identify, quantify and verify the land use and cover changes in these two valleys, which are part of the protected natural area of the Alta Garrotxa. Past dynamic in this territory is a good example of the processes happened along the XX century in a large part of Mediterranean mountain areas. These events are characterized fundamentally by an increment of the forest surface in detriment of the agrarian areas. Furthermore this article proposes methodological rules for an appropriate cartography, as well as of the recovered agrarian areas with the objective of maintaining the biological and landscape diversity

## Key Words

Mediterranean mountain, land use and cover change, recovery agrarian areas, GIS and Landscape Ecology.

# Ecología del paisaje y sistemas de información geográfica ante el cambio socioambiental en las áreas de montaña mediterránea. Una aproximación metodológica al caso de los valles d'Hortmoier y Sant Aniol (Alta Garrotxa. Girona)

Diego Varga Linde  
Josep Vila Subirós  
Institut de Medi Ambient  
Universitat de Girona

## 1. Introducción

Las áreas montañosas de Cataluña, y muy especialmente las del ámbito mediterráneo, han vivido desde finales del siglo XIX un claro proceso de despoblamiento. Una dinámica demográfica que se agudizó a partir de la segunda mitad del siglo XX y que sólo se ha visto frenada tímidamente a principios de los años 80 por la llegada de neorurales, apodados “hippies” por la población local, y gracias así mismo a un incipiente desarrollo turístico.

Los paisajes actuales son el fruto de la pasada y presente interrelación sociedad – medio y de la dialéctica que se ha generado entorno de la explotación de los recursos naturales a lo largo del tiempo. La existencia de mosaicos paisajísticos configurados por campos, por cultivos y bosques, contribuye a la conservación de la diversidad natural y cultural y así mismo ayudan a disminuir los riesgos asociados a un incendio forestal. Des del punto de vista de la diversidad biológica cabe recordar que muchas especies de fauna buscan su alimento en los cultivos y se refugian en los bosques adyacentes. Los espacios abiertos tales como cultivos y pastos son también un lugar de descanso para algunas aves, al igual que las zonas de transición entre estos espacios abiertos y las zonas boscosas consolidadas. Así mismo estos espacios abiertos (cultivos y pastos) son el testimonio de la explotación antrópica del medio y conservan muchos otros elementos que recuerdan el intenso aprovechamiento del territorio: paredes de piedra seca que perfilan bancales, casas, ermitas, cabañas, corrales, molinos y ferrerías junto a los ríos...

El abandono de la actividad ganadera, forestal y agrícola. por falta de rentabilidad económica, ha dado lugar a considerables cambios ambientales en estas zonas montañosas entre los que cabe destacar el aumento de la superficie y de la cantidad de biomasa forestal, provocando un proceso de progresiva desaparición y fragmentación de los paisajes agrarios.

Esta fue una dinámica inicialmente positiva ya que los bosques habían estado sometidos a un grado de explotación extremo. En cambio, en la actualidad el resultado de este proceso de desaparición y fragmentación, de lo que hemos denominado espacios abiertos (cultivos y pastos), ha supuesto una importante pérdida de diversidad biológica y paisajística al igual que una importante pérdida de patrimonio cul-

tural y a la vez una aumento del riesgo potencial asociado a un incendio forestal (Vila y Gordi, 2003).

## Objetivos

En este artículo se presenta de forma detallada la metodología utilizada para elaborar en primer lugar la cartografía de usos y cubiertas del suelo. En segundo lugar para cuantificar la evolución de los espacios agrarios con la finalidad de analizar y valorar el proceso de desaparición y fragmentación del espacio agrario en el espacio protegido de la Alta Garrotxa.

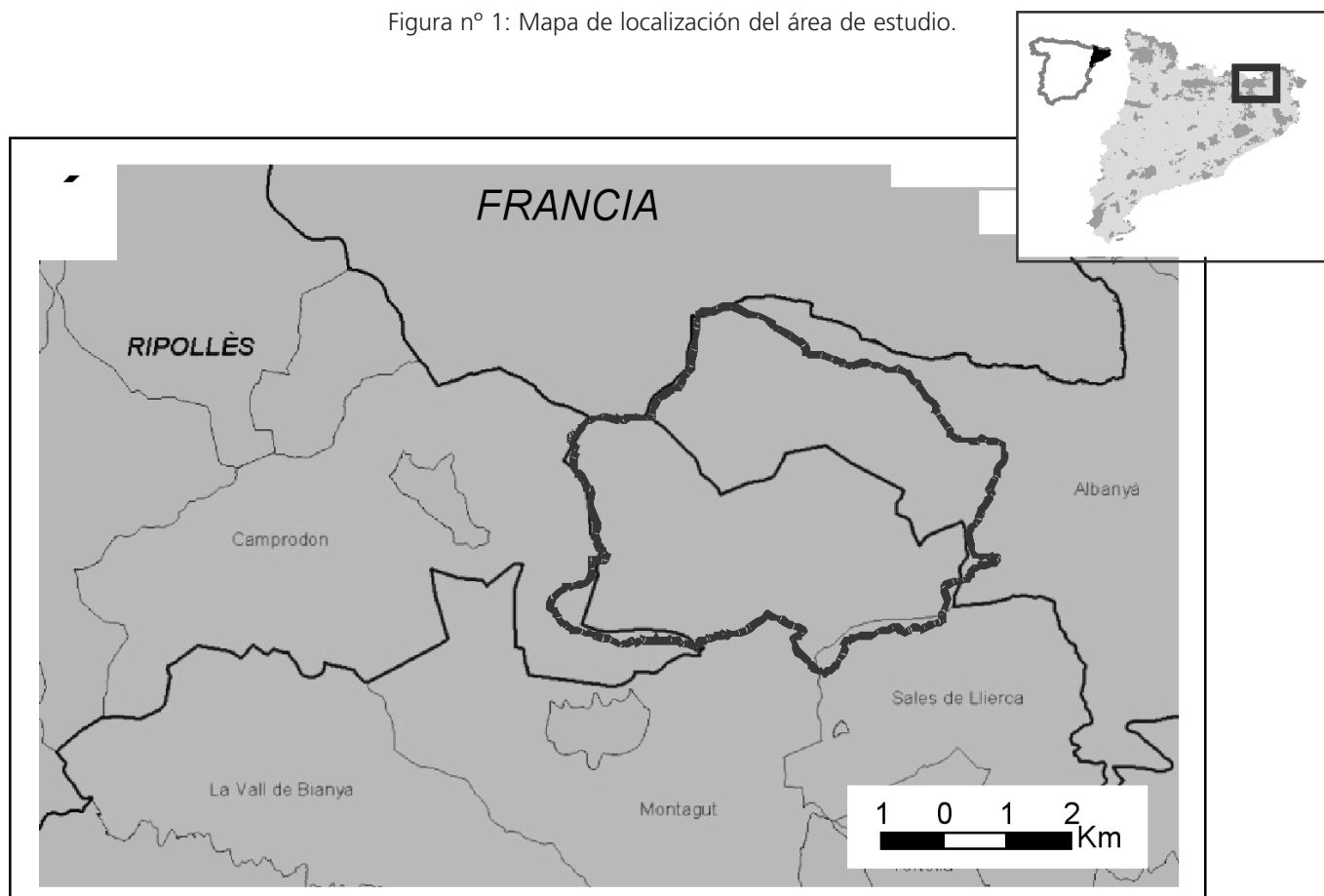
Y finalmente se perfilan pautas de recuperación potencial de este tipo de espacios con el objetivo de minimizar los impactos negativos derivados de la dinámica territorial vivida en las últimas décadas. Des de un punto de vista metodológico cabe resaltar el papel primordial que han jugado los Sistemas de Información Geográfica (SIG) para la cuantificación de los cambios y la ecología del paisaje (*Landscape Ecology*) para su interpretación y valoración.

## Características del área de estudio.

Los valles d'Hortmoier y Sant Aniol (5.000 ha) están situados en el espacio natural protegido Alta Garrotxa (32.000 ha) y son considerados su verdadero “corazón”, ya que se trata de una zona donde la complejidad geomorfológica y biogeográfica inherente a este territorio logra su máximo esplendor (Vila, 2001).

El encinar es el bosque dominante (*Quercetum ilicis galloprovinciale* y *Quercetum mediterraneo-montanum*) llegando en algunas vertientes de solana hasta los 800-900 metros de altitud. En estas vertientes orientadas al sur es substituido a partir de esta altitud por el robledal (*Buxo-Quercetum pubescentis*) que extiende su dominio potencial hasta la cima más alta, el Comanegre (1.550 m). En las sombrías el robledal queda limitado a los 350-400 m, a partir de esta altitud encontramos ya los hayedos (*Fagion*). Este conjunto bosques potenciales se completa con la presencia de robledal de *Quercus robur* (*Isopyro-Quercetum*) en el fondo del valle d'Hortmoier (Viñas, 2001). A lo que hay que añadir

Figura nº 1: Mapa de localización del área de estudio.



Fuente: Elaboración propia.

la presencia puntual de masas forestales constituidas por castaños (*Castanea sativa*) en algunos de los pocos afloramientos de materiales silicícolas y la existencia de algunas áreas donde el elemento forestal dominante, no potencial en esta parte de la Alta Garrotxa, es el pino albar (*Pinus sylvestris*).

En general, exceptuando algunos hayedos predominan bosques jóvenes, con una alta densidad de pies y con una estructura forestal muy homogénea. El mosaico paisajístico se completa con la presencia de algunas zonas de pasto, la más importante de las cuáles se ubica en la vertiente sur del Comanegra (Vila, 1999).

Evidentemente la evolución paisajística de esta zona está ligada íntimamente a la dinámica socioeconómica de este territorio que se ha caracterizado por un galopante despoblamiento desde finales del siglo XIX, y especialmente desde medianos del siglo XX con la llegada del butano y la sustitución del carbón vegetal como fuente energética. Así por ejemplo en el área de estudio la población paso de 1302 habitantes en el año 1950 a 185 en el año 1986, lo que representa en porcentaje una reducción del 85%. En la última década la llegada de neorurales, apodados por la gente de lugar como “hippies”, así como un incipiente desarrollo turístico ha permitido un cambio de tendencia con una cierta recuperación

de población llegando a superar la barrera de los 300 habitantes, en concreto 304 habitantes en el año 2001.

#### Principios teóricos

El estudio de los patrones, procesos, dinámicas y efectos de los cambios en los usos y cubiertas del suelo ha estimulado la investigación de nuevas formas de analizar y interpretar los paisajes teniendo en cuenta la heterogeneidad temporal, espacial y escalar de los elementos que lo componen y así poder establecer pautas de gestión más precisas y adecuadas.

En este sentido cabe remarcar las aportaciones realizadas desde la Ecología del Paisaje que han supuesto un importante desarrollo tanto a nivel conceptual como teórico (Forman y Godron, 1981). Los fundamentos teóricos principales en la Ecología del Paisaje a nivel de comprensión de sistemas complejos son: la teoría general de sistemas (Bertalanffy, 1973), la teoría de la jerarquía (Allen, 1982), la teoría del caos (Gleick, 1988), la geometría fractal (Mandelbrot, 1983) y la teoría de la percolación (De Gennes, 1990). A nivel del análisis espacial y temporal de los sistemas ecológicos cabe destacar la importancia de la teoría de isla biogeográfica (MacArthur y



Wilson, 1967) y la teoría de las perturbaciones (Pickett, 1985).

Unos principios teóricos que han contado con el apoyo indispensable del desarrollo extraordinario que ha vivido en las últimas dos décadas la denominada tecnología SIG (Sistemas de Información Geográfica). Los SIG permiten poder disponer de un amplio abanico de posibilidades para evaluar, cuantificar y analizar los cambios en la estructura morfológica de los paisajes (MacGarigal, 1995). A todas estas posibilidades cabe añadir la eventualidad de diseñar escenarios de futuro a partir de la consideración de todo un conjunto de variables y premisas.

Consecuencias de la fragmentación de los espacios agrarios.

### Efectos sobre la diversidad biológica

La actividad humana ha causado una drástica reducción de la diversidad biológica mundial debido a varios factores, pero la pérdida, degradación y fragmentación de paisajes son las causas más importantes de las elevadas tasas actuales de extinción de especies (WRI, 1992). La pérdida de hábitat fue identificada como la principal razón para el estado de amenaza del 75% de los mamíferos, 44% de las aves, 68% de los reptiles, 58% de los anfibios, 55% de los peces y 47% de los insectos presentes en la lista roja de animales amenazados de extinción (UICN, 1996). Pero así mismo los paisajes humanizados pueden ser generadores de riqueza biológica, como pasa en buena parte de los denominados paisajes en mosaico mediterráneos que están vinculados a una secular actividad antrópica.

Ciertos grupos de organismos son particularmente vulnerables a la extinción debido a la fragmentación de estos espacios abiertos vinculados a la actividad humana (p.ej. Orchidae), mientras que otros grupos persisten aun y todo cuando las tasas de pérdida y fragmentación de hábitat sean grandes (p.ej. Gramínea). En el caso de l'Alta Garrotxa podemos destacar la presencia de orquídeas tales como *Ophrys apifera*, *Ophrys insectifera*, *Orchis mascula*, *Orchis militaris*, *Orchis morio*, *Orchis purpurea*, *Orchis ustulata* i *Orchis mascula* que podrían desaparecer debido a este proceso de fragmentación del paisaje. En el ámbito faunístico se ven amenazados por este proceso los grandes carroñeros y necrófagos como pueden ser el quebrantahuesos (*Gypaetus barbatus*) y el buitre común (*Gyps fulvus*), así como algunas rapaces tales como el búho real (*Bubo bubo*) o el águila real (*Aquila chrysaetos*).

### Efectos sobre la propagación de los incendios forestales

Los incendios forestales representan la principal amenaza de los bosques mediterráneos. Una amenaza que forma parte de la misma dinámica del mundo forestal mediterráneo fruto de su composición florística donde se hacen presentes de forma abundante las llamadas especies pirófitas (Boada, 2003).

Los paisajes bajo los efectos del abandono de las actividades tradicionales, contribuyen al desarrollo de estratos verticales de vegetación, así como su crecimiento horizontal colonizando los pastos y cultivos abandonados y a la aparición de especies leñosas y a la acumulación de materia vegetal muer-

ta. Por tanto, las tierras abandonadas se hacen más vulnerables al fuego aumentando el riesgo de propagación.

Es por esto que ante este caso, la heterogeneidad del paisaje puede convertirse en una herramienta importante para la reducción de la velocidad de propagación de los incendios forestales y facilitar la accesibilidad para su extinción.

### Efectos sobre la preservación del patrimonio cultural

El proceso de despoblamiento y fragmentación del paisaje de la montaña mediterránea supone así mismo la pérdida progresiva de su rico patrimonio cultural. La mayoría de las áreas de montaña mediterránea eran puntos habitados hace 50 años, en definitiva un territorio fuente de empleo y vida. En y alrededor de las casas rurales tradicionales denominadas "masías" se desarrollaba una intensa actividad agraria y ganadera que mantenían los bancales cultivados y los bosques explotados, ya sea por el carboneo y la leña o por la recolección de otros recursos del bosque (setas, frutas salvajes, plantas medicinales) y donde jugaba también un papel primordial la caza.

Un enorme patrimonio monumental estaba íntimamente vinculado a esta ancestral e intensa actividad humana. En el caso de la Alta Garrotxa cabe destacar la existencia de nada menos que 51 iglesias repartidas por todo el espacio, la mayoría de ellas se encuentran en la actualidad en un lamentable estado de conservación.

Junto a la actividad económica y el patrimonio monumental desaparece todo un profundo conocimiento del área acumulada por las distintas generaciones de habitantes. Así mismo desaparecen ferias, fiestas mayores, músicas tradicionales, danzas locales y un largo etc... de valores antropológicos.

### Metodología

Este es el apartado central del artículo donde se describen las diferentes metodologías aplicadas para cartografiar, analizar y evaluar los cambios que se han producido en los usos y cubiertas del suelo en los valles d'Hortmoier y Sant Aniol durante la segunda mitad del siglo XX. El orden de presentación y exposición se corresponde con la secuencia lógica de utilización de cada una de las cuestiones metodológicas detalladas.

### Las fotografías aéreas del vuelo americano 1957: ampliación y características.

Para cuantificar y valorar con mayor exactitud y calidad los cambios producidos en relación a los espacios agrarios en el período de 1957-2003 fue necesario disponer de material cartográfico de detalle, en concreto se tomó la decisión de trabajar a una escala aproximada que oscila entre 1:5.000 y 1:7.000. Una escala de mucho detalle ya que permite cartografiar con extrema exactitud el conjunto de elementos naturales y antrópicos presentes en el área de estudio.

La información referente al año 2003 se cartografió a par-

tir de los ortofotomapas del Instituto Cartográfico de Cataluña (ICC) a escala 1:5.000 y trabajo de campo. En cambio para obtener información de detalle del año 1957 se recurrió a la ampliación de las fotografías aéreas del vuelo americano por parte del Centro Geográfico del Ejército. La ampliación máxima que se puede realizar a partir de los negativos de estas fotografías era de 100 cm. x 100 cm., es decir fotografías de 1 metro de anchura por un metro de longitud que corresponden a una escala aproximada de 1:7.000.

### **Escaneo de las fotografías aéreas del 1957**

El primer paso antes de comenzar el proceso de ortorectificación es la conversión del material cartográfico que disponemos en formato papel a formato digital a partir del escaneo.

Los parámetros más comunes a tener en cuenta a la hora de escanear un documento son la resolución geométrica, la resolución radio métrica y el tamaño del fichero de salida. El formato del fichero de salida de un dispositivo de escaneo es raster. Los más utilizados son: Bitmap de Windows (BMP), Tagged Image File Format (TIF,TIFF), Join Photographic Experts Group (JPG, JPEG), CompuServe Graphics Interchange (GIF) y Portable Network Graphics (PNG). Algunos de estos formatos permiten diferentes grados de compresión para que el fichero ocupe menos espacio de almacenamiento. En este estudio en cuestión las fotografías se escanearon en formato TIFF a 600 dpi y 24 bits/píxel con un tamaño aproximado de 60 Mb por fotografía.

### **Ortorectificación de las fotografías aéreas del 1957**

Se ha utilizado el software Erdas Images 8.4, y el proceso que se ha seguido en este caso, es el siguiente:

- Calibración de las imágenes:

Las fotografías aéreas llevan toda una información complementaria, como la zona, escala aproximada, número de pasada, data, relojes con el nivel indicativo de verticalidad y control de altura, además de algunas características de la cámara. En este primer paso se han entrado las distancias focales de las cámaras fotográficas.

Debido a que los fiduciales (marcas que se localizan en el marco de la fotografía que sirven para identificar el calibrado de la cámara) de las imágenes no quedaban claros y además, debido que la mitad de las fotografías de la zona de estudio no disponían de información ya que al ser fotografías colindantes con la frontera francesa, toda la información correspondiente a Francia ésta pintada de negro, lo que perjudica a la ortorectificación ya que la mitad de las fotografías no podrían disponer de puntos de control. Por estas causas se decidió utilizar la opción NON METRIC CAMERA en vez de la opción más común FRAME CAMERA.

- Entrada de puntos de control:

La ejecución de la opción Point Measurement nos permitirá asignar a las imágenes los puntos conocidos que hemos recogido del ortofotomapa. El programa diferencia entre tipos de puntos conocidos los cuales llama de diferente manera en función de la utilidad que tendrán a la hora de efectuar el análisis

estadístico para rectificar las imágenes. Así encontramos:

- Puntos de control: catalogados como FULL si se conocen los tres valores, X,Y,Z; catalogados como HORIZONTAL si sólo se conocen la X y la Y y catalogados como VERTICAL si nada más se conoce la Z.
- TIE POINTS: puntos comunes entre dos o mas imágenes los cuales servirán para elaborar un mejor encaje entre la imágenes.
- CHECK POINTS, puntos que nos permitirán comparar el grado de error en el proceso de rectificación.

- Corrección de las imágenes: Triangulación y Ortorectificación:

Antes de ejecutar los procesos de ortorectificación elaboramos un informe de la triangulación para ver que puntos dan el error mas elevado con el propósito de desactivarlos en el caso que nos interese.

Por último la opción Resampling nos permitirá ortorectificar la imagen a partir de los puntos de control y el modelo digital de elevaciones de la zona a la vez que creará una nueva imagen resultado. (Varga, D.;Crous, A. y Vila, J. 2004)

### **Creación de un modelo digital de elevaciones**

Para la ortorectificación de las fotografías aéreas se hizo servir un MDE raster creado a partir del programa IsoMDE del SIG MiraMon 5.0.

Se escogió este programa porque permite enriquecer la información adicional con líneas de ríos y crestas. Esto conlleva a que cuando el análisis de los perfiles (que el programa a más de trazar los 4 perfiles de cada celda horizontal, vertical y diagonales 45° y 135°, permite realizar perfiles adicionales a 22.5° y 67.5°) encuentra una línea de alguno de estos tipos determina que en aquel punto se ha de ubicar un máximo o un mínimo y de esta manera determinará mejor la morfología del terreno.

A partir de la extracción de las curvas de nivel a una equidistancia de 5 metros y de las líneas de ríos y crestas del topográfico 1:5.000 se realizó este proceso obteniendo un raster en formato IMG de 5 metros de celda. Con la herramienta de densificación de rasters del mismo programa, se densificó el MDE hasta tener 1 metro de celda, para una mejor precisión en el proceso de ortorectificación. (Varga, D, 2004).

### **Proceso analítico:**

A continuación se presenta la propuesta de pautas a considerar para delimitar los espacios abiertos potenciales susceptibles a ser recuperados: (Vila, Varga, Cortijo, Macías, 2003).

- Situarse en lugares que eran antiguos pastos, cultivos o bosques abiertos. Es necesario que los pastos a recuperar se sitúen en espacios que habían sido en el pasado reciente o habían podido desarrollar esta función, tomando como referencia los datos aportados por el vuelo americano de 1957 de pastos, antiguas zonas agrícolas y bosques abiertos.

- Limitado por un determinado grado de pendiente. En este caso se establece que no se puede recuperar pastos en lugares con pendientes superiores al 30%. Además se esta-

blece un gradiente en función del tipo de recuperación que se lleve a cabo:

Hasta un 10% de pendiente se permite la recuperación de cultivos y/o pastos.

A partir de un 10% de pendiente hasta un 30% se permite la recuperación exclusivamente de pastos. Para el establecimiento de este % fijado se ha tomado como punto de referencia el % que se utiliza por parte de los forestales como límite orientativo de pendiente en la obertura de pistas forestales, un límite fijado en 10%. Por encima de este porcentaje se considera que los problemas de erosión que se pueden derivar hacen desaconsejable la obertura de la pista. También se ha analizado los % de pendientes que se dan en algunas de las zonas más importantes de pastos de la Alta Garrotxa.

- Dimensión mínima. Para que la recuperación de cultivos y pastos tengan un sentido tanto desde un punto de vista ambiental, como paisajístico y económico es necesaria una mínima superficie. Con esta finalidad se ha establecido como áreas potencialmente recuperables aquellas que cumplen los condicionantes anteriores y que tengan además un extensión igual o superior a 0.5 ha.

- Anchura de banal: los banales de anchura menor a 3 metros tienen poco sentido desde el punto de vista productivo y paisajístico y a la vez el paso del ganado de banal puede acabar produciendo graves problemas de erosión. Se ha tomado como referencia para el establecimiento de anchura mínima de banal, condicionante de tipo técnico como por ejemplo la posibilidad de un tractor pequeño pueda circular y maniobrar para hacer posible el cambio de sentido.

### Análisis cartográfico

El análisis cartográfico se ha desarrollado con la ayuda del programa ArcGis 8.4 y sus módulos 3D Analyst y Spatial Analyst que ha permitido realizar los cálculos de pendientes. En concreto la secuencia de análisis que se ha utilizado es la siguiente:

- Elaboración del cálculo de pendientes con los módulos 3D Analyst y Spatial Analyst a partir del MDE creado con el software MiraMon 5.0.

- Selección de las áreas que cumplen las siguientes condiciones de pendiente (0-10% y de 10-30%) y una superficie igual o superior a 0.5 ha. Selección de determinadas cubiertas del suelo del año 1957 (cultivos, pastos y bosque abierto) referentes a espacios abiertos.

- Cruce de las capas de información referentes a la selección de las condiciones ya mencionadas con la opción GeoProcessing Wizard (Intersect) de ArcGis 8.4. A estas últimas áreas seleccionadas se les añade las zonas ocupadas por banales de una dimensión mínima de 3 metros de anchura, que se han obtenido a partir de la ortorectificación y digitalización de las fotografías aéreas ampliadas 100 cm. x 100cm del año 1957.

### Cálculo de índices de diversidad paisajística

Para calcular la diversidad de los hábitats de un paisaje y

evaluar si el mosaico de éstos se encuentra en estabilidad o cambio se ha utilizado el módulo para ArcGis Vlate 1.0 (Vector-based Landscape Analysis Tools Extensions) que procede del famoso programa Fragstat (estadística de fragmentación) que comenzó trabajando con el modo de MS-Dos (McKargill i Marks, 1995). Para su aplicación es necesario disponer de una cobertura de usos y cubiertas agrarias en formato vectorial y calcular un conjunto de medidas como puede ser la forma, el número y el tamaño de cada tipo de hábitat.

### Variables relevantes para cuantificar los patrones del paisaje

El tamaño es simplemente el área total ocupada por el fragmento de una clase determinada. La importancia de esta variable se alberga en el requerimiento del área de un determinado organismo es decir el área mínima de hábitat continuo necesario para que el organismo mantenga su patrón normal de comportamiento, como las estrategias de alimentación y estructura social.

Número de fragmentos: número de fragmentos para cada clase. Medida importante por el nombre de subpoblaciones (elemento clave en la teoría de las metapoblaciones (Gilpin, M.E. y Hansky, I., 1991).

La forma se refiere a la figura de un área bidimensional o tridimensional, determinada por la variación de los márgenes. La forma de los fragmentos es importante ecológicamente, especialmente por afectar directamente a los movimientos y flujos entre ecosistemas adyacentes (Forman, 1995).

La distancia entre los fragmentos determina la probabilidad de llegada de nuevos colonizadores (Fahrig, 1989). Cuanto más numerosos y próximos se encuentren entre sí los fragmentos decrece la probabilidad de extinción ya que la probabilidad de llegada de nuevos individuos aumenta.

### Índices utilizados para la cuantificación del patrón espacial

Podemos agruparlos en 4 categorías, según:

- Análisis de áreas:

$$NP = n_i \quad n_i = \text{número de fragmentos de la clase } i$$

*Número de fragmentos (Number of Patches)*

Rango: NP > 0, sin límites.

NP: igual al número de fragmentos de cada clase. Unidades: sin unidades.

*Área de la clase (Class Area)*

$$CA = \sum_{j=1}^n a_{ij}$$

$a_{ij}$  = área de un fragmento  $i$  que corresponde a una clase  $j$

Rango: TE > 0, sin límites.

Descripción: igual a la suma de las áreas de los fragmentos de una clase determinada.

Unidades: hectáreas.

*Densidad de fragmentos (Patch Density)*

$$PD = \frac{n_i}{A} (100) \quad A = \text{Área total del paisaje}$$

Rango:  $PD > 0$ , sin límites.

Descripción: igual al número de fragmentos de cada clase (NP) dividido por el área total del paisaje y multiplicado por 100 (para convertirlo en hectáreas. Unidades: número de fragmentos por 100 hectáreas.

*Tamaño medio de los fragmentos (Mean Patch Size)*

$$MPS = \frac{\sum_{j=1}^n a_{ij}}{n_i}$$

Rango:  $MPS > 0$ , sin límites.

Descripción: igual a la suma de las áreas de todos los fragmentos de cada tipo de clase, dividido por la suma de los fragmentos de la misma. Unidades: hectáreas.

*Desviación estándar del tamaño de los fragmentos (Patch Size Standards Deviation)*

$$PSSD = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^n a_{ij} - \left( \frac{\sum_{j=1}^n a_{ij}}{n_i} \right)^2}{n_i}}$$

Rango:  $PSSD \geq 0$ , sin límites.  $PSSD=0$  cuando todos los fragmentos de la clase tienen el mismo tamaño. Unidades: hectáreas.

Descripción: igual a la raíz cuadrada de la suma de las desviaciones al cuadrado del área de los fragmentos de cada clase, dividido por el número de fragmentos de cada clase.

Unidades: sin unidades.

Σ• Análisis de borde o margen:

*Longitud total de borde (Total Edge)*

$$TE = \sum_{j=1}^n E_{ik}$$

$E_{ik}$  = longitud de un fragmento  $i$  de la clase  $k$

Rango:  $TE > 0$ , sin límites.

Descripción: igual a la longitud del margen en relación a cada tipo de fragmento o en relación al total de clases. Unidades: metros.

Σ• Análisis de Forma:

*Media de los fragmentos de la Dimensión Fractal (Mean Patch Fractal Dimension)*

$$MPFRACT = \frac{\frac{2 \ln E_{ij}}{\ln A_{ij}}}{n_i}$$

Rango: 1-2. Fragmentos con valores de MPFRACT cercanos a 1 son aquellos con perímetros simples como pueden ser círculos y cuadrados. En cambio valores cercanos a 2 para aquellos fragmentos con perímetros complejos y grado de complejidad de la forma elevada.

Descripción: Calcula el grado de complejidad de cada fragmento a partir de la relación perímetro-área. Unidades: sin unidades.

• Análisis de proximidad:

*Distancia al fragmento más próximo (Nearest-Neighbor Distance)*

$$NN\_MIN = H_{ij}$$

$H_{ij}$  = distancia (m.) al fragmento más cercano  $i$  de la misma clase  $j$

Rango:  $NN\_DIST > 0$ , sin límites.

Descripción:  $NN\_DIST$  igual a la distancia desde el margen de un fragmento al margen del fragmento más cercano de la misma clase. Unidades: metros.

• Análisis de Diversidad:

*Shannon's Evenness Index*

$$SHEI = \frac{-\sum_{i=1}^m (P_i - \ln P_i)}{\ln m}$$

$P_i$  = proporción de paisaje ocupada por cada clase

$m$  = número de tipos de fragmentos

Rango:  $0 < SHEI < 1$ .  $SHEI: 0$  cuando el paisaje contenga un único fragmento y 1 cuando la distribución del área entre los tipos de fragmentos sea perfectamente uniforme. Descripción: Se refiere a la uniformidad o dominancia tomando como punto de referencia el índice de Shannon. Habrá más uniformidad a medida que nos acerquemos a 1. Unidades: sin unidades

*Shannon's Diversity Index*

$$SHDI = -\sum_{i=1}^m (P_i - \ln P_i)$$



Rango: SHDI>0, sin límites. Valores de SHDI próximos a 0 cuando el paisaje contiene un único fragmento. En cambio valores más elevados de SHDI se encuentran cuando se incrementa el nombre y la proporción de fragmentos de las diferentes clases.

Descripción: Hace referencia a la diversidad de composición y estructura del paisaje, su valor absoluto es bastante significativo para comparar diferentes paisajes y un mismo paisaje en diferentes momentos temporales. Unidades: sin unidades.

## Resultados

### Análisis cuantitativo de los espacios agrarios.

Queda reflejada en las dos tablas siguientes la importancia que representaban las áreas agrarias en el año 1957 con un

46,43%. En especial destacar el papel que tuvo la actividad ganadera ya que el 28,11% eran zonas de pastos y el 15,31% bosque abierto. No dejar de lado el 3,01% (155ha) de superficie ocupada por cultivos que en una zona tan abrupta como es la Alta Garrotxa es un dato muy relevante.

Como se puede comprobar se ha pasado de disponer de un 46% de espacio agrario total al año 1957 a disponer actualmente de un 12% de la superficie total de la zona de estudio de espacio agrario activo. Con la aplicación del modelo nos acercaríamos al entorno del 20% de superficie agraria dentro de la zona de estudio.

Si comparamos la evolución de estos espacios agrarios a lo largo del período 1957-2003 observamos que el bosque abierto del 1957 se ha reducido en un 62% respecto al 2003, que la pastura se ha reducido en un 76% y los cultivos también se han reducido en un 96%.

Tabla 1. Usos y cubiertas agrarias 1957 y 2003.

USOS	Ha. 1957	Ha. 2003	Ha. Escenario potencial	% 1957	% 2003	% Escenario potencial
Cultivos	154,64	5,59	35,17	3,01	0,11	0,68
Pastos	1446,51	334,47	653,65	28,11	6,51	12,72
Bosque abierto	787,93	294	234,89	15,31	5,72	4,57
Espacio agrario total	2389,08	634,07	923,72	46,43	12,34	17,97

Fuente: Elaboración propia

Tabla 2. Comparación usos y cubiertas agrarias en el período 1957-2003

USOS	Δ HECTÁREAS	%
Cultivos	-149,05	-96,38
Pastos	-1112,04	-76,87
Bosque abierto	-493,93	-62,68

Fuente: Elaboración propia

En la tabla número 3 se puede ver más detallado lo que se ha comentado anteriormente, la zona de pastos con la aplicación del modelo aumentaría en un 94% respecto a la superficie ocupada actualmente y los cultivos experimentarían un extraordinario incremento del 528% (en cifras absolutas 30 ha. más). Superficie que se ganaría reduciendo la superficie de zona forestal.

Tabla 3. Comparación usos y cubiertas agrarias en el período 2003- potenciales

USOS	Δ HECTÁREAS	%
Cultivos	29,58	528,45
Pastos	315,18	94,23
Bosque abierto	-59,11	-20,10

Fuente: Elaboración propia

### Análisis del patrón espacial:

- Índices sobre área y número de fragmentos.

Cabe destacar de forma especial los resultados de distintas variables de la tabla 4 y 5 referentes a los cultivos: Número de fragmentos (NP) y la mediana del tamaño (MPS) que se han visto reducidos considerablemente. Otro aspecto a destacar es el aumento de los fragmentos tanto de pastos como de bosque abierto que como queda demostrado en los índices nombre de fragmentos (NP) y densidad de fragmentos (PD) que va acompañado con una reducción del tamaño medio de los fragmentos. Este hecho da constancia del proceso de fragmentación que está viviendo la zona de estudio. Proceso que ocasiona una reducción de la viabilidad biológica de las poblaciones de las especies vinculadas a estos espacios agrarios debido a la reducción de la superficie y del aislamiento que más adelante comentaremos.

La desviación estándar de la mediana del tamaño de los fragmentos (PSSD) ha experimentado una clara reducción en las categorías estudiadas. Esto es debido a que los fragmentos de cada clase en el año 1957 presentaban valores muy dispares lo que provoca valores elevados de (PSSD). En cambio en el 2003 y fruto del proceso de fragmentación ya comentado los fragmentos presentan tamaños similares.

Tabla 4: Análisis por clases de áreas del año 1957

CLASE	NP	MPS (ha)	PSSD (ha)	PD (frag/100ha)	CA (ha)
Cultivos	129	1,19	1,60	2,52	154,64
Pastos	273	5,29	26,80	5,33	1446,51
Bosque abierto	175	4,50	6,56	3,41	787,93

Fuente: Elaboración propia

*NP: Nombre de fragmentos (Number of Patches)*

*MPS: Mediana del Tamaño de los fragmentos (Mean Patch Size)*

*PSSD: Desviación estándar del tamaño de los fragmentos (Patch Size Standards Deviation)*

*PD: Densidad de fragmentos (Patch Density)*

*CA: Área de la clase (Class Area)*

Tabla 5: Análisis por clases de áreas del año 2003

CLASE	NP	MPS (ha)	PSSD (ha)	PD (frag/100ha)	CA (ha)
Cultivos	6	0,93	0,73	0,11	5,59
Pastos	331	1,01	6,10	6,43	334,47
Bosque abierto	329	0,89	1,75	6,40	294

Fuente: Elaboración propia

Tabla 6: Comparación análisis por clases de áreas 1957-2003

CLASE	$\Delta$ NP	$\Delta$ MPS (ha)	$\Delta$ PSSD (ha)	$\Delta$ PD (frag/100ha)	$\Delta$ CA (ha)
Cultivos	-123	-0,26	-0,87	-2,40	-149,04
Pastos	58	-4,28	-20,70	1,10	-1112,04
Bosque abierto	154	-3,60	-4,80	2,98	-493,92

Fuente: Elaboración propia

Con la aplicación del modelo podemos observar en la tabla 7 la mejoría que se produce, especialmente en el caso de los cultivos y de los pastos. En cuanto a los cultivos se refiere se aumenta en 15 el nombre de fragmentos y el área total en 30 ha. respecto a la situación actual. También aumenta la mediana del tamaño de cada fragmento de cada fragmento. Esta nueva

situación pondría freno al proceso de fragmentación que se está produciendo. Lo que conseguiríamos es que los fragmentos aislados más próximos mediante el modelo se volvieran a unir para convertirse en fragmentos más compactos y a la vez recuperar la utilidad funcional para las especies que alguna etapa de su ciclo depende en mayor parte de estos espacios.

Tabla 7: Análisis por clases de áreas potenciales

CLASE	NP	MPS (ha)	PSSD (ha)	PD (frag/100ha)	CA (ha)
Cultivos	21	1,67	1,70	0,40	35,17
Pastos	266	2,45	7,52	5,17	653,65
Bosque abierto	173	1,35	2,12	3,36	234,89

Fuente: Elaboración propia

Tabla 8: Comparación análisis por clases de áreas potenciales 2003/potencial

CLASE	$\Delta$ NP	$\Delta$ MPS (ha)	$\Delta$ PSSD (ha)	$\Delta$ PD (frag/100ha)	$\Delta$ CA (ha)
Cultivos	15	0,74	0,97	0,29	29,58
Pastos	-65	1,44	1,42	-1,26	319,18
Bosque abierto	-156	0,46	0,36	-3,03	-59,11

Fuente: Elaboración propia

• Índices sobre borde-ecotono, forma y conectividad

En este primer análisis correspondiente al borde de los fragmentos de una determinada clase, cabe destacar el  $\Delta$ TE a lo largo del período de estudio se ha ido reduciendo de manera progresiva como se observa en las tablas 9 y 10. Este

proceso esta estrechamente ligado a la fragmentación y la reducción de la superficie de las zonas agrarias.

Este proceso de pérdida de borde tiene unas repercusiones sobre las especies que viven en estos hábitats de transición, hábitats con una elevada riqueza biológica.

Tabla 9: Análisis por clases de borde año 1957

CLASE	TE (m)
Cultivos	68378,48
Pastos	441183,06
Bosque abierto	272550,7

Fuente: Elaboración propia

Tabla 10: Análisis de borde año 2003 y comparativa con año 1957.

CLASE	TE (m)	$\Delta$ TE (1957)
Cultivos	2893,22	-65485,26
Pastos	119335,55	-321847,51
Bosque abierto	129405,88	-143144,82

Fuente: Elaboración propia

TE: Longitud total de borde (Total Edge)

En el caso de los resultados del modelo, tabla 11, se puede ver una mejora importante en el aumento del  $\Delta$ TE tanto en los pastos como en los cultivos. En el caso del bosque abierto no contempla esta mejoría porque los condicionantes del modelo priorizan la recuperación de estos dos tipos de espacios.

los espacios agrarios como se observa en el  $\Delta$  de los valores de complejidad de los fragmentos como se observa en la Mediana de los fragmentos de la dimensión fractal (MPFRACT) y el aislamiento de este tipo de espacios como refleja la Distancia al fragmento más próximo (MNN\_MIN) respecto el año 1957.

Tabla 11: Análisis de borde potencial y comparativa con año 2003.

CLASE	TE (m)	$\Delta$ TE (2003)
Cultivos	21694,84	18801,62
Pastos	386744,16	267408,61
Bosque abierto	120469,23	-8936,65

Fuente: Elaboración propia

En este segundo análisis correspondiente a la forma y conectividad de los fragmentos, tablas 12 y 13, se vuelve a demostrar la dinámica de fragmentación que están sufriendo

Tabla 12: Análisis por clases de forma y conectividad del año 1957

CLASE	MPFRACT	MNN_MIN
Cultivos	1,40	53,51
Pastos	1,43	37,61
Bosque abierto	1,40	57,93

Fuente: Elaboración propia

**MPFRACT:** Mediana de los fragmentos de la Dimensión fractal (Mean Patch Fractal Dimension)

**MNN\_MIN:** Distancia al fragmento más próximo (Nearest-Neighbor Distance)

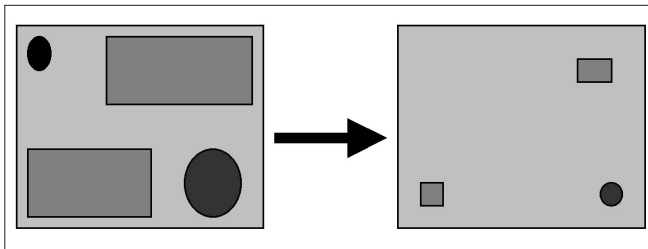
Tabla 13: Análisis por clases de forma y conectividad del año 2003 y comparativa con año 1957.

CLASE	MPFRACT	MNN_MIN	$\Delta$ MPFRACT (1957)	$\Delta$ MNN_MIN (1957)
Cultivos	1,77	520,35	0,37	466,84
Pastos	1,70	117,90	0,27	80,28
Bosque abierto	1,79	38,69	0,39	-19,24

Fuente: Elaboración propia

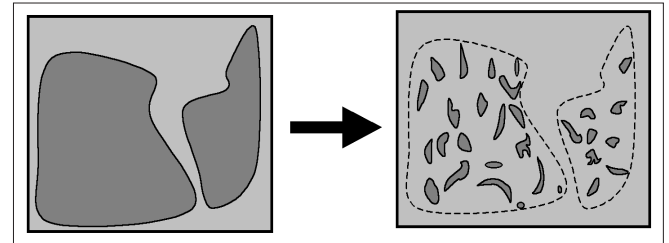
En la siguiente figura pretende ser un resumen para ejemplificar el proceso de aislamiento y de fragmentación de los espacios agrarios. Véase, el aumento del número de fragmentos con la correspondiente disminución de su superficie, el aumento en la complejidad de la forma y el aislamiento entre los diferentes fragmentos de una misma clase.

Figura 2: Proceso de aislamiento de los espacios agrarios activos.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 3: Proceso de fragmentación de los espacios agrarios.



Fuente: Elaboración propia.

Comparando los resultados obtenidos con la modelización, tabla 14, no se observan cambios sustanciales en el índice de forma MPFRAC. Únicamente en los cultivos que se produce una mejora en la complejidad de la forma debido al aumento de la superficie de los fragmentos.

En cambio si que se produce una reducción en la distancia media (MNN\_MIN) en las tres clases de espacios agrarios, mejorando la conectividad de estos espacios y frenando el proceso de fragmentación.

Tabla 14: Análisis por clases de forma y conectividad potencial y comparativa con el año 2003.

CLASE	MPFRACT	MNN_MIN	_ MPFRACT (2003)	_ MNN_MIN (2003)
Cultivos	1,41	483,79	-0,36	-36,56
Pastos	1,77	25,82	0,07	-92,08
Bosque abierto	1,83	83,41	0,04	44,72

Fuente: Elaboración propia

En el período 1957-2003 se produce una importante reducción de la diversidad paisajística como se observa tanto en el índice de Shannon como el de uniformidad de Shannon de la tabla 15, que ven reducidos sus valores.

Los datos de la tabla siguiente vuelven a poner de manifiesto el proceso de fragmentación que presentan las áreas agrarias así como la recuperación de heterogeneidad paisajística que incorpora la aplicación de la propuesta de intervención realizada en el modelo.

Evidentemente un incremento de la diversidad del paisaje supondría a la vez una garantía para mantener y aumentar

la actual diversidad de especies que se relacionan en este tipo de hábitat, así como reducir los riesgos potenciales asociados a los incendios forestales.

Tabla 15: Análisis de la diversidad biológica en relación a los espacios agrarios.

	1957	2003	Potencial
Shannon's Diversity Index	0,84	0,66	0,70
Shannon's Evenness Index	0,77	0,60	0,64

Fuente: Elaboración propia



Figura 4: Espacio agrario 1957.

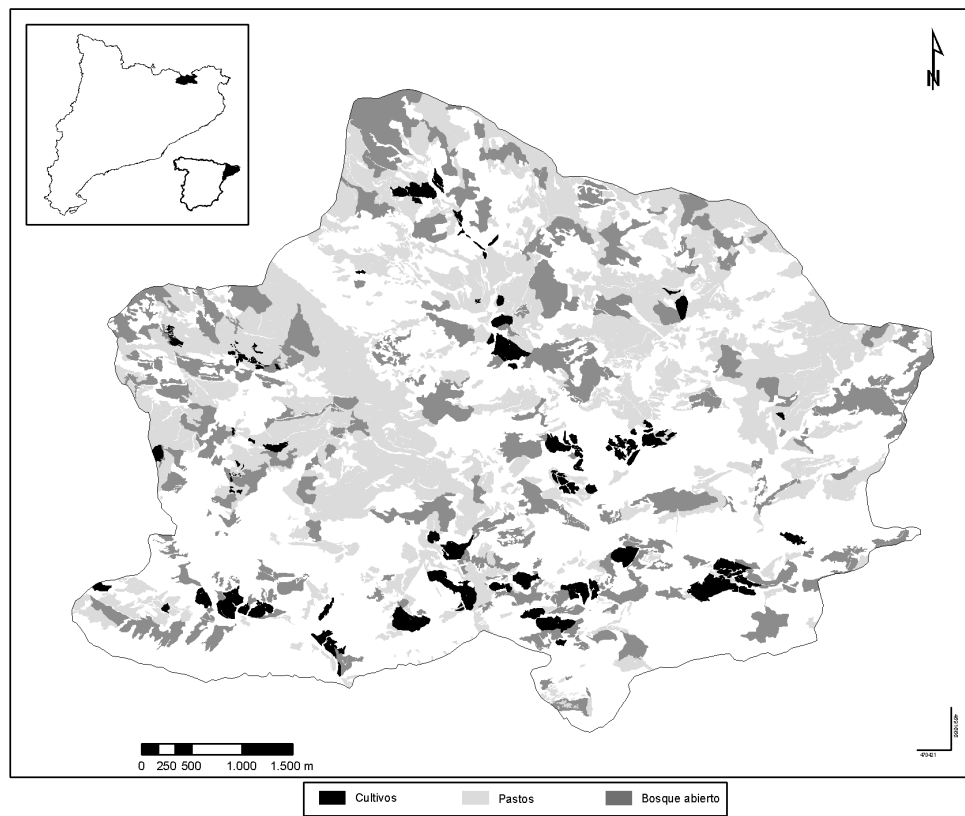


Figura 5: Espacio agrario 2003.

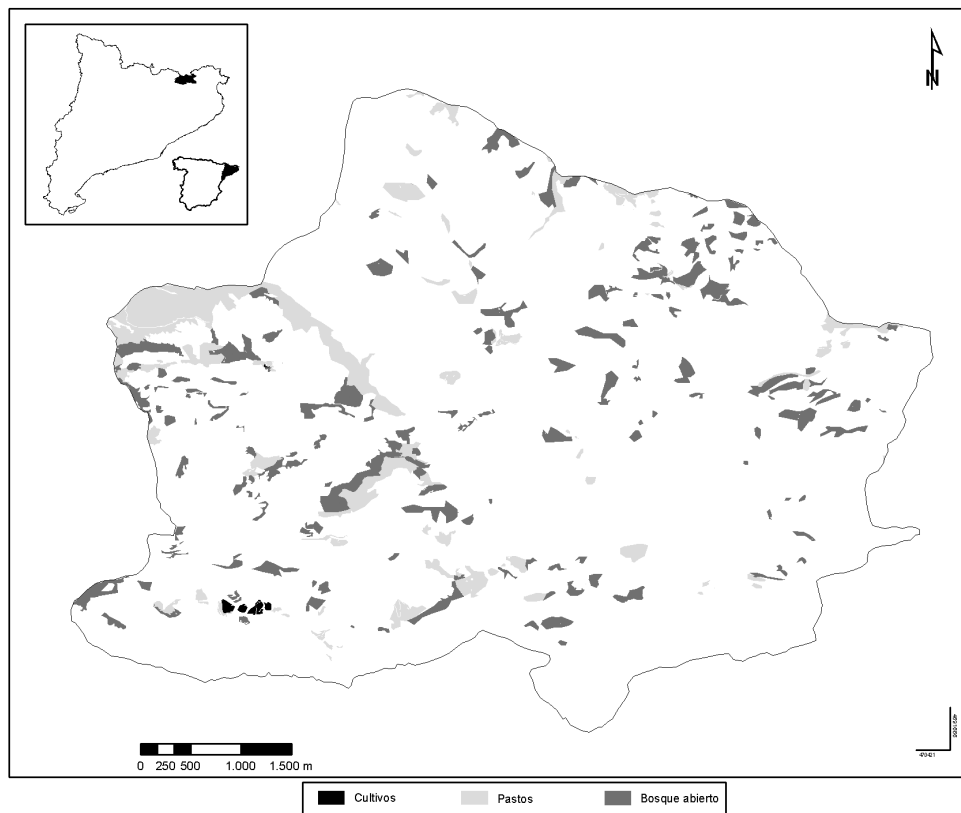
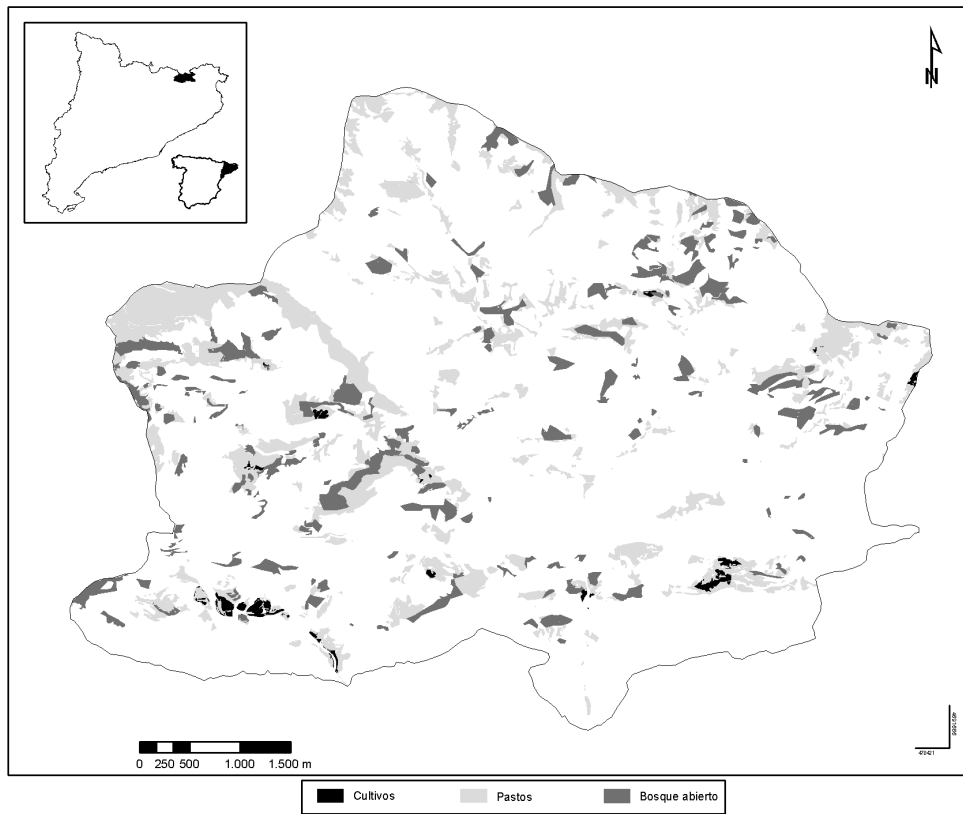


Figura6: Espacio agrario potencial.



Fuente: Elaboración propia.

## Conclusiones

En relación a la metodología:

En primer lugar, constatar la importancia de la utilización de la fotografía aérea ampliada del 1957 como herramienta para el estudio de la evolución de los paisajes agrarios.

En segundo lugar comentar la trascendencia del proceso de ortorectificación permite disponer de datos con un elevado grado de exactitud en un espacio tan abrupto como el estudiado.

En tercer lugar se pone de manifiesto la utilidad de los sistemas de información geográfica (SIG) para la proyección de intervenciones territoriales con la finalidad de mantener y mejorar la diversidad paisajística y biológica de los espacios naturales, reducir el riesgo potencial de un incendio potencial y así como facilitar el mantenimiento de parte del patrimonio cultural.

En cuarto lugar cabe destacar que otra virtud de esta modelización planteada es la posibilidad de que las pautas determinadas sean extrapolables, permitiendo la definición de nuevas zonas de recuperación potencial de estos espacios en otras realidades territoriales similares.

En relación a los resultados:

En primer lugar, por lo que a la cartografía se refiere, se aporta un mapa de espacios agrarios detallado de los años 1957 elaborado a partir de la fotografía aérea en blanco y negro ampliada del año 1957 escala 1:7000. Y por otro lado un mapa de las cubiertas y usos agrarios elaborado a partir de los ortofotomapas en color a escala 1:5000 y trabajo de campo y un mapa del espacio agrario potencial a partir de la modelización propuesta.

En segundo lugar el cálculo de indicadores paisajísticos nos permite evaluar los cambios que se han producido en los valles de Hortmoier y Sant Aniol durante el período 1957-2003.

En tercer lugar, los resultados que se obtienen de la modelización supondrían un incremento de la proporción que ocupan actualmente los espacios agrarios, ya que se verían aumentados en un 6% (300 ha.). Un incremento que supone una clara mejora si toma como referencia los índices de estructura paisajística así pues se produce: una reducción del aislamiento de los fragmentos, una recuperación de los hábitats de borde y una recuperación de la heterogeneidad paisajística.

## BIBLIOGRAFÍA

- ALLEN, T.F.H., y STARR, T.B. (1982): Hierarchy. Perspectives for ecological complexity. The University of Chicago Press, Chicago, 310 pp.
- BERTALANFFY, L. (1973): General System theory: foundations development applications, Penguin University books, Harmondsworth (England), 311 pp.
- BOADA, M. (2003): Boscos de Catalunya. Història i actualitat del món forestal. Brau Edicions, 187 pp.
- BUREL, F. y BAUDRY, J. (2002): Ecología del Paisaje: Conceptos, Métodos y Aplicaciones. Mundi-Prensa, 347 pp.
- DE GENNES, P.G. (1990): Continu et discontinu: l'exemple de la percolation. En Symposium: les enjeux. Encyclopaedia universalis, 744 pp.
- FAHRIG, L. y MERRIAM I.G. (1994): Conservation of fragmented populations. Conservation Biology 8: 50-59.
- FORMAN, R. Y GODRON, M. (1986): Landscape Ecology. John Wiley and Sons. New York, 620pp.
- GLEICK J. (1988): *Chaos*, MacDonald & Co., Londra, 352 pp.
- GILPIN, M. & HANSKI, I. (1991): Metapopulation Dynamics: Empirical and Theoretical Investigations. Academic Press, London, 336 pp.
- MACARTHUR, R.H. y WILSON, E.O. (1967): The theory of island biogeography. Princeton University Press, 203 pp.
- MANDELBROT, B. (1983): The fractal geometry of nature. W.H. Freeman & Co, New York, 468 pp.
- MCARIGAL, K. y MARKS, B. (1995): FRAGSTAT: Spatial Pattern Analysis Program for Quantifying Landscape Structure. Washington, DC: United States Department of Agriculture General Technical Report PNWGTR-351, 42 pp.
- NOGUÉ, J. (1986): La percepció del bosc. La Garrotxa com espai viscuit. Girona, Diputació de Girona-Ajuntament d'Olot, 172 pp.
- PICKETT, S.T.A. y WHITE, P. (1985): The ecology of natural disturbance and patch dynamics. Academic Press, New York, 472 pp.
- PINO, J. y RODÀ, F. (1999): L'ecologia del paisatge: un nou marc per la ciència de la conservació. Butlletí ICHN, núm. 67, pp 5-20.
- REDECKER, B.; FINK, P.; HARDTLE, R.; RIECKEN, U. y SCHRODER, E. (2002): *Pasture landscape and nature conservation*. Springer Verlag, 450 pp.
- UICN. (1996): UICN red list of threatened animals. IUCN, Gland, Switzerland.
- VARGA, D.; CROUS, A. y VILA, J. (2004): "Aplicación de los sistemas de información geográfica a la gestión ambiental: Modelización de la recuperación potencial de hábitats no forestales en los valles de Hortmoier y Sant Aniol (Alta Garrotxa. Girona)" en, *Medio Ambiente, Recursos y Riesgos Naturales: Análisis mediante Tecnologías SIG y Teledetección*. Universidad de Murcia, pp. 99 - 112.
- VARGA, D. (2004): L'homogeneització del paisatge a les valls d'Hortmoier i Sant Aniol: Anàlisi, evolució i perspectives de futur. Memoria de Investigación. Instituto de Medio Ambiente. Universidad de Girona, 128 pp.
- VILA, J. (2000): *Anàlisi i valoració dels boscos de les Valls d'Hortmoier i Sant Aniol (Alta Garrotxa)*, Tesis doctoral, Departament de Geografia Física i Anàlisi Geogràfica Regional, Universitat de Barcelona, 510 pp.

- VILA, J. y WELCH, J. M. (2001): “La homogeneización paisajística de los valles de Hortmoier y Sant Aniol (Alta Garrotxa): Caracterización y evaluación de los cambios ambientales en el período 1957-1979-1996 con Patch Analyst” en, *Actas del XVII Congreso de Geógrafos Españoles*. Oviedo, Universidad de Oviedo, 227-230 pp.
- VILA, J. y GORDI, J. (2002): “La evolución histórica de los bosques de la Alta Garrotxa (Girona)” en, PANAREDA, J. M. y PINTÓ, J. (eds.). *Temas en Biogeografía*. Terrassa, Editorial Aster, pp. 66 – 73.
- VILA, J.; VARGA, D.; CORTIJO, S. y MACIAS, M. (2003): *Cartografia i estudi dels hàbitats no forestals de l'Alta Garrotxa (pastures i conreus) amb especial èmfasi dels hàbitats d'interès comunitari*. Càtedra de Geografia Pensament Territorial de la Universitat de Girona, 129 pp.
- VIÑAS, X. (2001): “El patrimoni natural: la flora i la vegetació. L'Alta Garrotxa, una terra trencada” en, *Revista de Girona*, 206, pp. 63 – 66.
- WRI (1992): Estrategia global para la biodiversidad - pautas de acción para salvar, estudiar y usar en forma sostenible y equitativa la riqueza biótica de la Tierra. WRI, IUCN, PNMUA. 244pp.